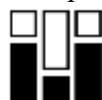


**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль 18.06.01 Химическая технология  
Инженерная школа новых производственных технологий  
Отделение материаловедения

**Научный доклад об основных результатах подготовленной  
научно-квалификационной работы**

Тема научного доклада
<b>Оптимизация технологии электроимпульсного плазменного спекания оптически прозрачной керамики на основе порошков оксидных соединений</b>

УДК 621.762.5:533.9:666.3.03-026.771

**Аспирант**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A5-53	Пайгин Владимир Денисович		

**Руководитель профиля подготовки**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор-консультант	Верещагин Владимир Иванович	д.т.н.		

**Руководитель отделения**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения материаловедения	Клименов Василий Александрович	д.т.н.		

**Научный руководитель**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения материаловедения	Хасанов Олег Леонидович	д.т.н.		

Томск – 2019 г.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы исследования.** Разработка оптических материалов нового поколения необходима для развития элементной базы современной фотоники, поэтому создание новых и уникальных с точки зрения практического применения оптических материалов, разработка и оптимизация технологий их изготовления является актуальной задачей, обеспечивающей прогресс в оптическом приборостроении и материаловедении. Новые оптические материалы должны обладать комплексом уникальных свойств: регулируемым спектром пропускания электромагнитного излучения и люминесценции, высоким квантовым выходом, так же комплексом высоких упругопластических свойств и плотностью близкой к теоретической. Разработка таких материалов должна основываться на новых принципах и подходах, среди которых весьма эффективным является применение наноструктурированных порошковых материалов и современных технологий их консолидации. Таким образом, указанный комплекс свойств новых оптических материалов будет определять рекордные высокие эксплуатационные характеристики оптических элементов, приборов и устройств.

**Целью работы** является установление закономерностей процессов консолидации оптически прозрачных керамик на основе порошков оксидных соединений методом электроимпульсного плазменного спекания, оптимальных режимов их изготовления и термической обработки для производства керамики с заданной структурой, физико-механическими и оптическими свойствами.

Во **введении** раскрывается актуальность работ по выбранной теме, сформулированы основные цели и задачи, научная новизна и практическая значимость, определены объект и предмет проведенных исследований, представлены положения, выносимые на защиту, указан личный вклад автора.

В **первом** разделе научно-квалификационной работы представлен подробный обзор данных патентной и научно-технической литературы зарубежных и российских исследователей в области изготовления оптически прозрачных керамических материалов на основе порошков оксидных соединений.

Во **втором** разделе научно-квалификационной работы представлено описание исходных материалов исследования, используемых подходов и методик исследования свойств материалов, используемого технологического и аналитического оборудования.

В **третьем** разделе представлены результаты экспериментальных исследований по оптимизации технологических режимов электроимпульсного плазменного спекания и термической обработки на воздухе прозрачной керамики на основе порошков оксидных соединений. В выводах по разделу описаны предложения по оптимизации параметров консолидации и термической обработки материалов исследуемого типа.

В **заключение** представлены основные выводы по проделанной работе, описана значимость полученных результатов.

По теме НКР опубликовано 29 работ, в том числе 7 в зарубежных научных изданиях рецензируемых Scopus/Web of Science, из них 4 в журналах первого и второго квартиля, 7 в российских научных изданиях рецензируемых РИНЦ, из них 6 в изданиях из перечня ВАК, 15 тезисов докладов сборниках российских и зарубежных конференций.

#### **Список работ, опубликованный автором по теме диссертации**

1. Valiev D. , Stepanov, S., Khasanov, O., Dvilis, E., Polisadova, E., **Paygin, V.** Synthesis and optical properties of Tb<sup>3+</sup> or Dy<sup>3+</sup>-doped MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> transparent ceramics //Optical Materials. – 2019. – Т. 91. – С. 396-400.
2. Valiev D. T., Khasanov O. L., Dvilis E. S., Stepanov S. A., Polisadova E. F., **Paygin V. D.** Luminescent properties of MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ceramics doped with rare earth ions fabricated by spark plasma sintering technique // Ceramics International. - 2018 - Vol. 44 - №. 17. - p. 20768-20773.

3. Khasanov O. L., Dvilis E. S., Polisadova E. F., Stepanov S. A., Valiev D. T., **Paygin V. D.**, Dudina D. V. The influence of intense ultrasound applied during pressing on the optical and cathodoluminescent properties of conventionally sintered YSZ ceramics // Ultrasonics Sonochemistry. - 2018 - Vol. 50. - p. 166-171.
4. Valiev D. T., Han T., Stepanov S. A., Vaganov V. -, **Paygin V. D.** The effect of BaF<sub>2</sub> concentration and particle size distribution on the luminescence efficiency of YAG:Ce<sup>3+</sup> phosphors // Materials Research Express. - 2018 - Vol. 5 - №. 9, Article number 096201. - p. 1-7.
5. Dvilis E. S., Khasanov O. L., Polisadova E. F., **Paygin V. D.**, Stepanov S. A., Valiev D. T., Dudina D. V. The Criteria for optimization of spark plasma sintering of transparent MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Ceramics // Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy. - 2018 - Vol. 65 - №. 8. - p. 513-518.
6. Polisadova E. F., Vaganov V. -, Stepanov S. A., **Paygin V. D.**, Khasanov O. L., Dvilis E. S., Valiev D. T., Kalinin R. Pulse cathodoluminescence of the impurity centers in ceramics based on the MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinel // Journal of Applied Spectroscopy. - 2018 - Vol. 85 - №. 3. - p. 416-421.
7. Khasanov O. L., Dvilis E. S., Bikbaeva Z. G., Khasanov A. O., **Paygin V. D.** Relationship of Optical Properties and Elastoplastic Characteristics of Transparent Spark-Plasma-Sintered YSZ Ceramics // Journal of Ceramic Science and Technology. - 2017 - Vol. 8 - №. 1. - p. 161-168.
8. Двилис Э.С., **Пайгин В.Д.**, Степанов С.А., Хасанов О.Л., Валиев Д.Т., Полисадова Е.Ф., Ваганов В., Алишин Т.Р., Дудина Д.В. Закономерности влияния температуры электроимпульсного плазменного спекания на свойства прозрачной YSZ-керамики // Новые Огнеупоры. - 2019. - № 3. – С. 34–39.
9. **Пайгин В. Д.**, Двилис Э. С., Хасанов О. Л., Степанов С. А., Алишин Т. Р., Валиев Д. Т., Полисадова Е. Ф., Ваганов В. -. Влияние малых концентраций CeO<sub>2</sub> на свойства прозрачной керамики на основе MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> // Конструкции из композиционных материалов. - 2019 - №. 1. - С. 7-11.

10. Полисадова Е. Ф., Ваганов В. -, Степанов С. А., **Пайгин В. Д.**, Хасанов О. Л., Двилис Э. С., Валиев Д. Т., Калинин Р. Г. Импульсная катодолюминесценция примесных центров в керамике на основе шпинели  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  // Журнал прикладной спектроскопии. - 2018 - Т. 85 - №. 3. - С. 407-412.

11. Полисадова Е. Ф., Хасанов О. Л., Степанов С. А., Валиев Д. Т., **Пайгин В. Д.**, Шрайбер А. М., Жвакина П. Д. Наведенное поглощение в YSZ-керамике // Известия вузов. Физика. - 2018 - №. 9/2. - С. 221-225.

12. Степанов С. А., Валиев Д. Т., **Пайгин В. Д.**, Ваганов В. -, Шрайбер А. М., Жвакина П. Д. Люминесцентные свойства люминофора  $\text{YAG:Ce}$ ,  $\text{BaF}_2$  и керамики // Известия вузов. Физика. - 2018 - №. 9/2. - С. 199-202.

13. Двилис Э. С., Хасанов О. Л., **Пайгин В. Д.**, Толкачёв О. С. Изготовление светопропускающей YSZ-керамики методом статического одноосного прессования под мощным ультразвуковым воздействием с последующим свободным спеканием // Фундаментальные исследования. - 2017 - №. 12-2. - С. 1-12.

14. Иванов Ю. Ф., Хасанов О. Л., **Пайгин В. Д.**, Бикбаева З. Г., Тересов А. Д., Шугуров В. В., Калашников М. П., Двилис Э. С., Толкачёв О. С. Легирование  $\text{ZrO}_2$ -керамики титаном при облучении интенсивным импульсным электронным пучком системы пленка/подложка // Известия вузов. Физика. - 2017 - Т. 60 - №. 10/2. - С. 54-61.

**Пайгин В.Д.** Синтез беспористой структуры прозрачной керамики на основе  $\text{ZrO}_2$  методом спекания в плазме искрового разряда // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XI Международной конференция студентов и молодых ученых, г. Томск, 22-25 апреля 2014 г.

15. **Paygin V. D.** Investigation of the transparent ceramic optical properties based on  $\text{ZrO}_2$ , produced by spark plasma sintering // Nanostructured

Materials: Programme and Abstracts of 2nd International Young Scientists School, Tomsk, May 12-15, 2016. - Tomsk: TPU Publishing House, 2016 - p. 48.

16. Хасанов О. Л., Двилис Э. С., Бикбаева З. Г., Хасанов А. О., **Пайгин В. Д.** Разработка оптически прозрачной керамики с применением методов SPS // Перспективные технологии консолидации материалов с применением электромагнитных полей: тезисы докладов 5-го международного научного семинара, Москва, 29-31 Августа 2016. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2016 - С. 27-29.

17. Khasanov O. L., Dvilis E. S., Bikbaeva Z. G., **Paygin V. D.** The relationship of the optical and mechanical properties of YSZ,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  ceramics manufactured by SPS technique // 13th Laser Ceramics Symposium: Abstract Book, Fryazino, December 4-8, 2017. - Fryazino: IRE RAS, 2017 - p. 24.

18. **Paygin V. D.**, Dvilis E. S., Khasanov O. L., Lyamina G. V. Study of Sintering of the Translucent Cubic Zirconia Ceramics // 12th International Forum on Strategic Technology (IFOST - 2017): Proceedings: in 2 Vol., Ulsan, 31 May-2 June 2017. - Ulsan: University of Ulsan, 2017 - Vol. 1 - p. 28-30.

19. **Пайгин В. Д.**, Толкачёв О. С. , Хасанов О. Л. Оптимизация режимов изготовления светопропускающей керамики на основе кубического  $\text{ZrO}_2$  // Физика полупроводников и наноструктур, полупроводниковая опто- и наноэлектроника: тезисы докладов 19-й Всероссийской молодежной конференции, Санкт-Петербург, 27 Ноября-1 Декабря 2017. - Санкт-Петербург: СПбПУ, 2017 - С. 24.

20. **Пайгин В. Д.**, Двилис Э. С., Толкачёв О. С. Влияние давления прессования на плотность светопропускающей керамики на основе кубического  $\text{ZrO}_2$  // Современные технологии и материалы новых поколений: сборник трудов международной конференции с элементами научной школы для молодежи, Томск, 9-13 Октября 2017. - Томск: ТПУ, 2017 - С. 215-217.

21. **Пайгин В. Д.** Исследование оптических свойств керамики на основе  $\text{ZrO}_2$  полученной методом электроимпульсного плазменного спекания // Двадцать третья всероссийская научная конференция студентов-физиков и

молодых ученых: материалы, Екатеринбург, 1-8 Апреля 2017. - Екатеринбург: АСФ России, 2017 - С. 424-425.

22. **Пайгин В. Д.**, Толкачёв О. С., Двилис Э. С., Алишин Т. Р. Исследование процессов консолидации люминесцентной керамики на основе иттрий-алюминиевого граната // Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения: сборник трудов международной научно-технической молодёжной конференции, Томск, 26-30 Ноября 2018. - Томск: ТПУ, 2018 - С. 206-208.

23. Толкачёв О. С., Леонов А. А., Алишин Т. Р., **Пайгин В. Д.** Формирование структуры композитной керамики на основе  $ZrO_2$  и нановолокон  $Al_2O_3$  при свободном спекании // Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения: сборник трудов международной научно-технической молодёжной конференции, Томск, 26-30 Ноября 2018. - Томск: ТПУ, 2018 - С. 239-241.

24. **Пайгин В. Д.**, Двилис Э. С., Хасанов О. Л., Степанов С. А., Алишин Т. Р. Влияние малых концентраций  $CeO_2$  на свойства прозрачной керамики на основе  $MgAl_2O_4$  // Актуальные проблемы порошкового материаловедения: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения академика В.Н. Анциферова, Пермь, 26-28 Ноября 2019. - Пермь: ПНИПУ, 2018 - С. 466-470.

25. **Пайгин В. Д.**, Алишин Т. Р. Влияние температуры спекания на свойства прозрачной YSZ-керамики, полученной методом электроимпульсного плазменного спекания // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 7 т., Томск, 24-27 Апреля 2018. - Томск: ТГУ, 2018 - Т. 2. Химия - С. 240-242.

26. **Пайгин В. Д.**, Двилис Э. С., Алишин Т. Р. Исследование процессов электроимпульсного плазменного спекания прозрачной YSZ-керамики // Физика твердого тела: сборник материалов XVI Российской

научной студенческой конференции, Томск, 17-20 Апреля 2018. - Томск: НТЛ, 2018 - С. 87-90.

27. Стрельников А. Д., Алишин Т. Р., **Пайгин В. Д.** Характеризация прозрачной керамики на основе  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  допированной  $\text{CeO}_2$  // Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: сборник тезисов V Всероссийского конкурса научных докладов студентов, Томск, 22-23 Мая 2018. - Томск: ТПУ, 2018 - С. 16.

28. **Пайгин В. Д.**, Двилис Э. С., Алишин Т. Р. Термический отжиг прозрачной YSZ-керамики полученной методом электроимпульсного плазменного спекания // Двадцать четвертая всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых: материалы, Томск, 31 Марта-7 Апреля 2018. - Екатеринбург: АСФ России, 2018 - С. 509-511.

29. **Пайгин В. Д.**, Толкачёв О. С. , Двилис Э. С. , Алишин Т. Р. Комплексная характеристика коммерческого нанопорошка  $\text{CeO}_2$  // Двадцать четвертая всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых: материалы, Томск, 31 Марта-7 Апреля 2018. - Екатеринбург: АСФ России, 2018 - С. 508-509.